

**PERMODELAN MANAJEMEN ENERGI KENDARAN ELEKTRIK HIBRID PADA BATERAI  
ELEKTRIK DENGAN KONFIGURASI PEMASANGAN TRANSMISI SECARA SISTEM PARALEL  
MENGUNAKAN PERHITUNGAN SIMULINK**

**Danny Setiawan<sup>a</sup>, Mohammad Yamin<sup>b</sup>**

<sup>a</sup>Fakultas Teknologi Informatika / Jurusan Teknik Mesin , [danny\\_set90@staff.gunadarma.ac.id](mailto:danny_set90@staff.gunadarma.ac.id), Universitas Gunadarma

<sup>b</sup>Fakultas Teknologi Informatika / Jurusan Teknik Mesin , [mohay@staff.gunadarma.ac.id](mailto:mohay@staff.gunadarma.ac.id), Universitas Gunadarma

**ABSTRACT**

Energy management installed in electric hybrid vehicle systems is very often modeled using computer programs and manufacturing-based computers (CAM), each modeled design sometimes has its own results based on the method used, for this modeling hybrid electric vehicles use programming on simulink by explaining battery power consumption data management in hybrid electric vehicles. The battery usage input data is to use variable data from the combustion motor engine as input data on the generator and variable use of the DC motor as input data on battery use. The battery used has a capacity of 100 Ah with a DC electrical voltage of 144 V.

**Keywords:** Power, Energy Management, Torque, Brushless Motor, Battery Power.

**ABSTRAK**

Manajemen energy yang terpasang pada system kendaraan hibrida elektrik sangat sering sekali dimodelkan menggunakan program computer dan computer berbasis manufaktur (CAM), setiap desain yang dimodelkan terkadang memiliki hasilnya tersendiri berdasarkan metode yang dipakai, untuk permodelan ini kendaraan elektrik hibrida menggunakan pemrograman pada simulink dengan menjelaskan manajemen data pemakaian daya baterai pada kendaraan elektrik hibrida tersebut. Data masukan penggunaan baterai adalah menggunakan variable data dari mesin motor bakar sebagai data masukan pada generator dan variable penggunaan motor DC sebagai data masukan pada penggunaan baterai. Baterai yang dipakai memiliki kapasitas 100 Ah dengan tegangan elektrik DC sebesar 144 V.

**Kata Kunci:** Daya, Manajemen Energi, Torque, Brushless Motor, Daya Baterai.

**1. PENDAHULUAN**

Pada permodelan kendaraan elektrik hibrida, hal yang paling sering diteliti oleh orang adalah penggunaan energy yang terjadi pada kendaraan tersebut dan menyimpulkan bahwa penggunaan dari energy tersebut berapa yang keluar dan berapa yang masuk. Pada permodelan yang sering diteliti tersebut diciptakan system permodelan berdasarkan mengatur aliran energy yang terjadi, sehingga sering disebut pula dengan permodelan manajemen energy.

Pada pemodelan energy yang terjadi pada kendaraan hibrida yang sering diteliti adalah besarnya persentase kenaikan pengisian energy listrik pada baterai (percentage source of charging / %SOC), selain itupula permodelan yang terjadi juga memperhitungkan lama pemakaian kendaraan pada keadaan elektrik (electrical mode/battery mode) dan batas kekuatan motor DC yang digunakan, apakah dapat bergerak dengan kecepatan maksimum berapa, dari permodelan inilah penelitian ini dirancang..

## 2. METODE PENELITIAN

Berdasarkan berbagai sumber hasil penelitian para peneliti, pada permodelan motor bakar (*internal combustion engine*) kendaraan elektrik hibrida, metodologi yang digunakan pada penelitian ini menggunakan system permodelan yang diprioritaskan pada formula matematika pada program computer, sehingga terdapat beberapa jenis formula energy yang hilang akibat peristiwa kerja mesin tersebut diantaranya ada kehilangan energy panas dari hasil pembakaran bahan bakar, energy gesekan antara part didalam mobil dan energy slip pada permukaan ban. Faktor ini yang menyebabkan sangat sayang sekali untuk dibuang percuma, namun lain halnya energy panas, energy ini sangatlah sulit untuk diubah menjadi energy lainnya seperti energy listrik (khusus pada kendaraan), hal ini dikarenakan adanya persamaan hukum termodinamika ke dua yang menjadikan sulit mengubah dan menyetabilkan energy tersebut.

Maka dari itu, sisa energy yang dapat dihitung hanya berupa energy gesek antar penghubung komponen kendaraan dan energy slip pada roda kendaraan, sehingga didapat persamaannya adalah:

$$W_{mot} = E_{gesek_{ban}} + E_{inersia}$$

Dimana nilai Egesek\_ban menurut persamaan Hukum Newton ke 3 adalah:

$$E_{gesekan_{ban}} = \frac{1}{2}m(\omega_t r)^2 - \int F_n \mu_0 dx$$

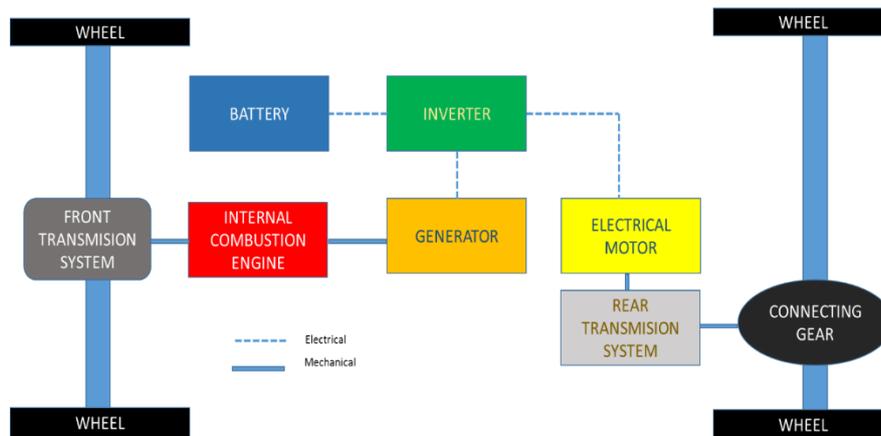
Dimana Egerakan\_ban adalah hasil energy yang bekerja akibat adanya kondisi mekanika mesin, dan nilai Egerak\_ban sama seperti menghitung nilai inersia pada kendaraan beroda lebih dari empat buah, sehingga menurut perhitungan transmisi didapatkan sebuah rumus inersia yakni:

$$E_{inertia} = \frac{1}{2}I_{trans}\omega_{trans}$$

Dari rumus tersebut, kita dapatkan nilai minimum dan maksimum dari torsi yang didapat dari kinerja mesin motor bakar.. Berdasarkan posisi kendaraan hybrid yang menggunakan desain system transmisi parallel, bagian mesin motor bakar yang dimodifikasi dari produk pabrikan selalu ditempatkan didepan, sehingga dalam pemodelan modifikasi ini, mesin kedua yakni motor listrik ditempatkan pada posisi di bagian belakang, sehingga tidak perlu perubahan pada desain wadah depan untuk menempatkan motor DC yang dimensinya cukup besar dan memerlukan rangka yang kuat untuk dapat menahan getaran mekanika yang dihasilkan dari mesin dan guncangan jalan yang tidak stabil.

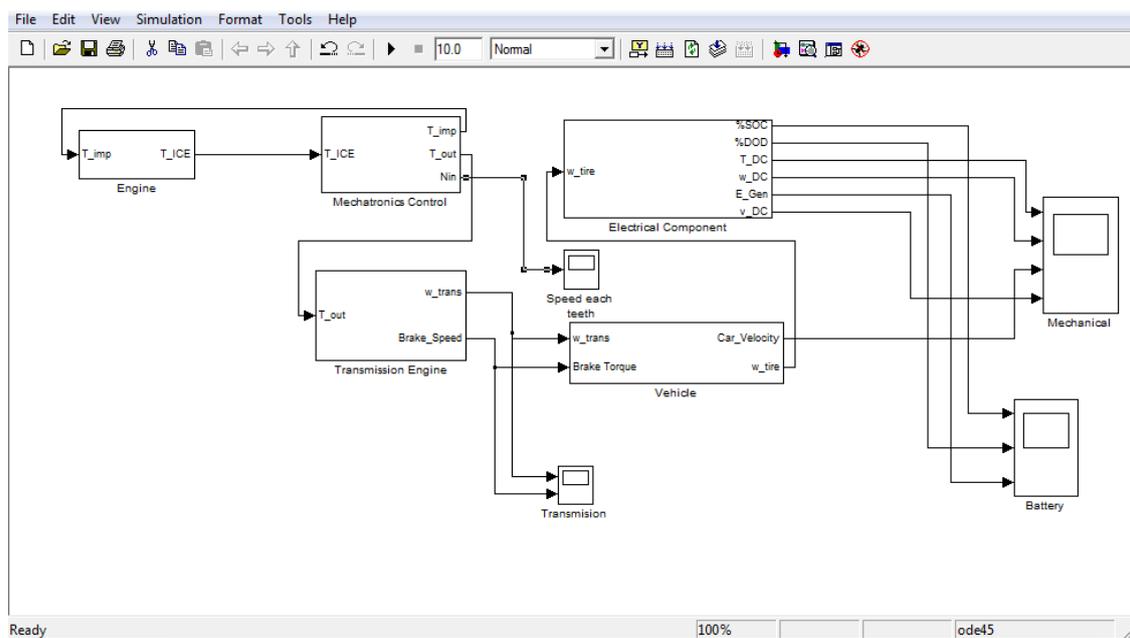
Kemudian pada permodelan pada penempatan baterai dan pendingin baterai ditempatkan pada bagian bagasi yang dapat menahan bobot yang cukup berat, berdasarkan rata-rata desain bagasi kendaraan sedan itu dirancang untuk menahan bobot maksimal 200 – 250 kg, hal ini bisa diambil sebagai kondisi penempatan baterai untuk motor listrik. Kemudian menempatkan pendingin untuk baterai menggunakan pendinginan bersirip (heatsing model) dengan menggunakan kipas sebagai alat utama pendinginnya. Selain memodifikasi penempatan baterai dan alat pendinginnya, ditempatkan pula struktur kabel sebagai alat penyalur dan penghubung energy terhadap motor listrik yang digunakan nantinya, untuk modifikasi kali ini, penggunaan kabel khusus motor dari converter DC menggunakan kabel berdiameter 2-3 cm, sedangkan untuk dari converter DC ke baterai menggunakan kabel berdiameter lebih besar yakni 4-5 cm, hal ini diakibatkan dari jumlah arus listrik yang mengalir cukup besar.

Permodelan yang dipakai dapat dilihat pada gambar 1 sebagai model yang sering dipakai pada kendaraan elektrik hibrida yang menggunakan konfigurasi transmisi parallel.



Gambar 1 Skematik Permodelan Kendaraan Hibrid model

Dari gambar tersebut dikatakan bahwa perhitungan matematika yang terjadi tergantung pada pengontrolan pada masukan data yang dilakukan, oleh sebab itu data yang dimasukan berupa kondisi pengontrolan tekanan gas (throttle) pada kendaraan yang dimodelkan, dari permodelan tersebut kita mendapatkan kondisikan bahwa model rancang bangunnya harus memenuhi criteria, sehingga permodelan pada Simulink dapat dilihat pada gambar 2 berikut:



Gambar 2 Permodelan Kendaraan Elektrik Hibrida berkonfigurasi Transmissi Paralel.

Dari gambar 2 dapat kita lihat permodelan tersebut menggunakan 5 buah sub model sebagai penyederhana sambungan yang cukup banyak. Dari sub model tersebut dirancang 5 model yang mewakili komponen yang ada pada kendaraan elektrik hibrida tersebut, komponen yang dibuat pada permodelan ini adalah model motor bakar (ICE), model control mekanik, model transmissi mesin, model komponen elektronik dan model kendaraan itu sendiri.

Dari sub model inilah terdapat berbagai perhitungan Simulink yang berdasarkan perhitungan matematika yang didapatkan berdasarkan rumus yang dimasukan pada permodelan tersebut. Dari permodelan yang didapat, dalam Simulink yang berdasarkan simulasi memerlukan sebuah data masukan yang harus dimasukan pada permodelan tersebut, data masukan yang dimasukan pada permodelan dapat dilihat pada table 1 dan table 2 dibawah berikut ini:

Table 1. Spesifikasi Data Masukan Permodelan Kendaraan Elektrik Hibrida untuk Komponen Elektrik

Spesifikasi	Nilai
Baterai (Kapasitas x Tegangan Listrik)	100 Ah dengan 144 VDC
Motor BLDC Type (Daya)	10 kW dengan 98 VDC
Putaran Motor BLDC (rata-rata)	2000 - 6000 rpm
Generator Type (Daya)	8 kW with 12 VDC
Converter DC/DC Control (Duty Cycle)	18 VDC to 180 VDC

Tabel 2. Spesifikasi Mesin yang digunakan

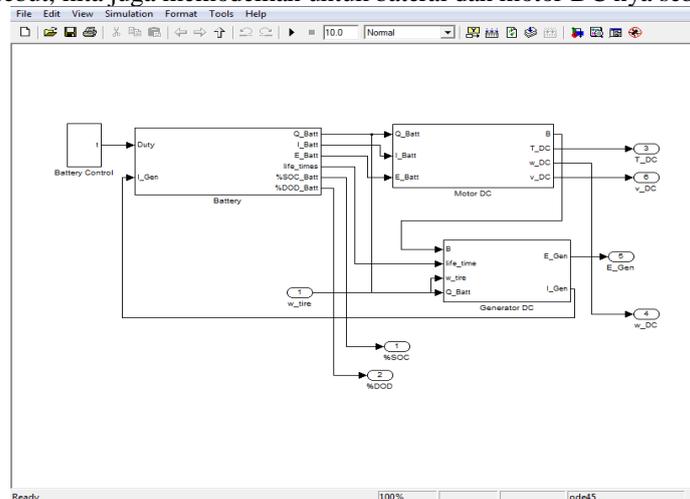
Spesifikasi	Nilai
Output	78000 W
Torque	131 Nm
Rotation (max)	6000 rpm
Maximum Velocity	140 km/h
Shaft Radius	21.5 mm
Maximum Force	6078 N

Dari spesifikasi tersebut, didapatkan bahwa nilai kecepatan maksimum kendaraan hanya mencapai 120 km/h, namun jika kita kondisikan penambahan bobot pada spesifikasi modifikasi, maka nilai kecepatan maksimumnya bisa kurang dari kondisi masukan data awal, sehingga berdasarkan permodelannya, kita modelkan di simulink seperti berikut:

Table 3. Konfigurasi Penggunaan Kecepatan

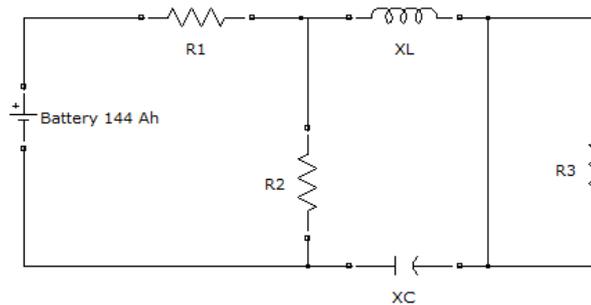
Breakpoints	Column	(1)
(1)	<b>1</b>	810
(2)	<b>2</b>	995
(3)	<b>3</b>	1760
(4)	<b>4</b>	2250
(5)	<b>5</b>	4005
(6)	<b>6</b>	5431
(7)	<b>7</b>	6000
(8)	<b>8</b>	5210
(9)	<b>9</b>	4660
(10)	<b>10</b>	4406

Dari permodelan tersebut, kita juga memodelkan untuk baterai dan motor DC nya sebagai berikut:



Gambar 3. Sub model pada Komponen Elektrik

Pada gambar 3 kita lihat bahwa sub model komponen elektrik memiliki 4 buah sub model didalamnya, sub model ini mewakili komponen elektrik yang terpasang pada kendaraan elektrik hibrida yakni sub model baterai, sub model control baterai, sub model motor DC dan sub model generator DC. Pada sub model control baterai terdapat permodelan perhitungan Laplace sebagai ukuran pengontrolan pada *system modeling* (menurut Essam Allam). Kemudian pada pemasangan sub model baterai pada sub model motor DC dan sub model generator DC terdapat permodelan duty cycle yang menggunakan impedansi resistor pada stator dan interkoneksi pada motor tersebut. Sehingga pada pembuatan rangkaian untuk duty cycle pada baterainya menggunakan perhitungan matematika yang menerapkan nilai pengisian energy baterai dimulai ketika baterai berada pada kondisi 20% dan pemakaian energy baterai berada pada kondisi 90%. Rangkaian yang digunakan adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Permodelan *Duty Cycle*

Dari perancangan ini, bisa kita dapat nilai pengisian energy yang terjadi pada baterai dan kecepatan motor DC yang terjadi. Dari permodelan rancangan modifikasi tersebut, dikarenakan adanya penambahan bobot akibat nilai bobot barang, mengakibatkan keluaran kecepatan yang menggunakan motor DC tidak begitu signifikan daripada daya yang dikeluarkannya, sehingga berdasarkan perhitungan matematika, kecepatan yang dijalankan akan menurun dari nilai kecepatan maksimal yang dikeluarkan.

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

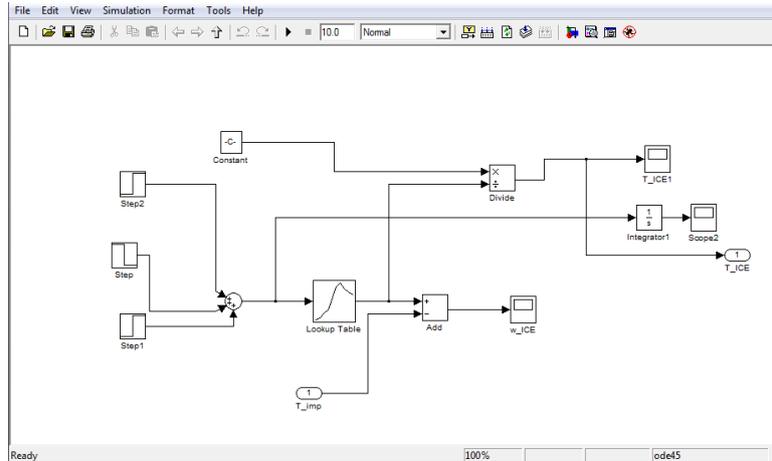
Berdasarkan analisa penggunaan teori diatas, dapat kita ubah nilai torsi dan kecepatan yang terjadi pada kendaraan tersebut yakni menggunakan perhitungan matematika dimana setiap jalur pada spare part mesin didalam dapat diperhitungkan.

#### A. Analisa Motor Bakar

Berdasarkan analisa pada motor bakar, terdapat sebuah mekanisme perubahan gaya dorong yang disesuaikan dengan jumlah udara yang masuk dan keluar, sehingga secara matematis didapatkan berupa :

$$\omega'_{EN} = \frac{dP}{d\tau_{EN}}$$

Sehingga berdasarkan persamaan table dyne meter antar torsi dan kecepatan sudutnya, didapatlah rancangan untuk motor bakarnya adalah:



Gambar 5. Permodelan Motor Bakar

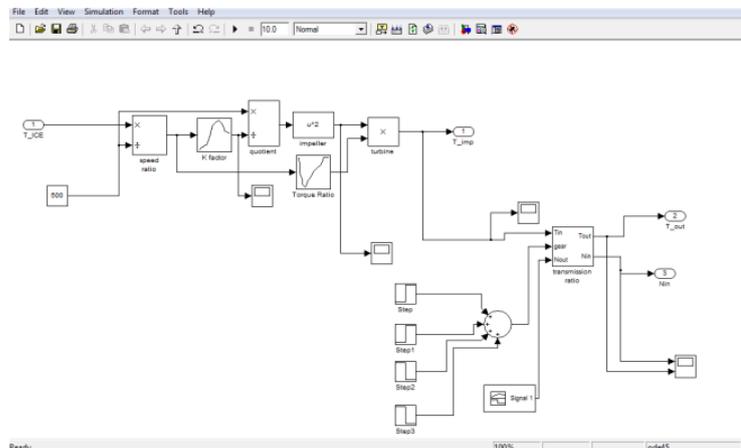
Namun dikarenakan hasil yang diperoleh dari permodelan diatas masih berupa rpm dalam table yang digunakan, maka dikalikan nilai konstanta dengan  $60/2\pi$  sebagai faktorisasinya untuk perhitungan satuan Internasional.

**B. Analisa Transmisi**

Berdasarkan analisa transmisi pada gearbox setiap kendaraan berbeda-beda tergantung pada rasio roda giginya dan K-Faktor nya sebagai penentu kecepatan sudut pada bagian propeller ke roda ban (khusus pada torsi converter). Pada analisa ini terdapat pula rasio perbedaan kecepatan transmisi dimulai dari gear pertama hingga gear terakhir, sehingga perhitungan matematisnya adalah:

$$\tau_{TR} = \frac{N}{N_R} \tau_{EN}$$

Sehingga didapatkan permodelannya yakni sebagai berikut::



Gambar 6. Permodelan Transmisi Kendaraan

Dari perhitungan ada masalah baru yang harus dihadapi, setiap gear yang memiliki rasio nya sendiri itu membuat perhitungannya berdasarkan rasio yang mendekati nilai table dimana tabel rasionya adalah sebagai berikut:

Tabel 4. Rasio Gigi pada Permodelan Transmisi Kendaraan

Row		--
(1)	<b>1</b>	2.393
(2)	<b>2</b>	1.45
(3)	<b>3</b>	1.006
(4)	<b>4</b>	0.777

Dari rasio pada table 4 diatas, terdapat bahwa masing - masing rasio roda gigi dikontrol untuk menentukan kadar kecepatan sudut yang terjadi pada bagian kopling transmisi (control kopling), sehingga berdasarakan rasio banyaknya gigi transmisi pada kopling ini yang menentukan besaran torsi yang terjadi pada kendaraan bertransmissi banyak.

**C. Analisa Pengerak dan Badan Kendaraan**

Pada sector analisa ini terbagi menjadi 2 bagian, yakni sector perhitungan inersia pada bagian penggerak roda kendaraan dan sector perhitungan beban badan kendaraan sebagai fungsi perubahan kecepatan yang terjadi pada simulasi.

Untuk sector perhitungan inertiya terdapat dari perhitungan rasio kecepatan sudut yang diambil dari rumus inersia benda silinder yakni:

$$E_{inertia} = \frac{1}{2}mv_{roda}^2 + \frac{1}{2}m\omega_{tran}^2r_{tran}^2$$

Dimana nilai vroda berasal dari kecepatan kendaraan yang nantinya didapat dari:

$$v_{roda} = \frac{P_{tran}}{F_g} = \frac{P_{tran}}{m_{bodi} \cdot g \sin\theta}$$

Dengan nilai Ptran adalah hasil perkalian dari kecepatan sudut transmisi dan torsi pada transmisi. Kemudian untuk sector beban kendaraan yakni Fbodi adalah perhitungan standar dari bobot kosong kendaraan terdapat percepatan gravitasi dengan sudut elevasi keadaan medan sehingga didapatkan:

$$F_{bodi} = m_{bodi} \cdot g \sin\theta$$

Formula diatas digunakan berdasarkan nilai derajat kemiringan kendaraan yang terjadi, untuk permodelan ini derajat kemiringan jalan yang dipakai berupa 0° (datar).

**D. Analisa Motor Listrik dan Kontrol Baterai**

Pada analisa control untuk SOC dan DOD brasal dari criteria mekanisme otomatisasi pada switcher (tuas pengganti) yang dirancang pada kondisi baterai berkapasitas 40% akan mulai melakukan pengisian (State of Charge) dan pada kondisi baterai mulai mendekati level 80% pada kondisi berkendara, maka akan dimulai proses menggunakan baterai (Depth of Discharge).

Oleh sebab itu, untuk analisa control baterai yang terdiri dari kondisi motor listrik yang berputar dimana berdasarkan hukum Lorenz, nilai beda potensial yang didapat dari putaran elektromagnetik pada kumparan magnet diukur berdasarkan:

$$F_{DC} = I_{DC} \times B$$

Sehingga dari persamaan tersebutlah, kita mendapatkan nilai untuk menghitung rancangan control pada pengisian baterai menggunakan control system first order system dimana nilai daya baterai sebagai bilangan x dan SOC/DOD adalah bilangan y nya, sehingga didapat persamaan garis linier berjangka:

$$dy = 100 - 0,01t$$

Maka dari persamaan tersebut dapat kita ubah menjadi persamaan Laplace, sehingga mendapatkan rangkaian model simulink menjadi:

$$y = 10000 - e^{-0,01t}$$

Kemudian berdasarkan perhitungan matematika Laplace menjadi:

$$L((y)) = \frac{10000}{s} - \frac{100}{100s + 1}$$

Namun sebelum merangkaikan alur tersebut, dibutuhkan rangkaian pengubah (inverter) untuk menstabilkan gelombang yang dihasilkan dari analog ke digital dan digital ke analog lagi, dalam rangkaian ini disebut rangkaian duty cycle, pada analisa perhitungan duty cycle, didapat persamaan:

$$duty\ cycle = \frac{t}{T} \times 100\%$$

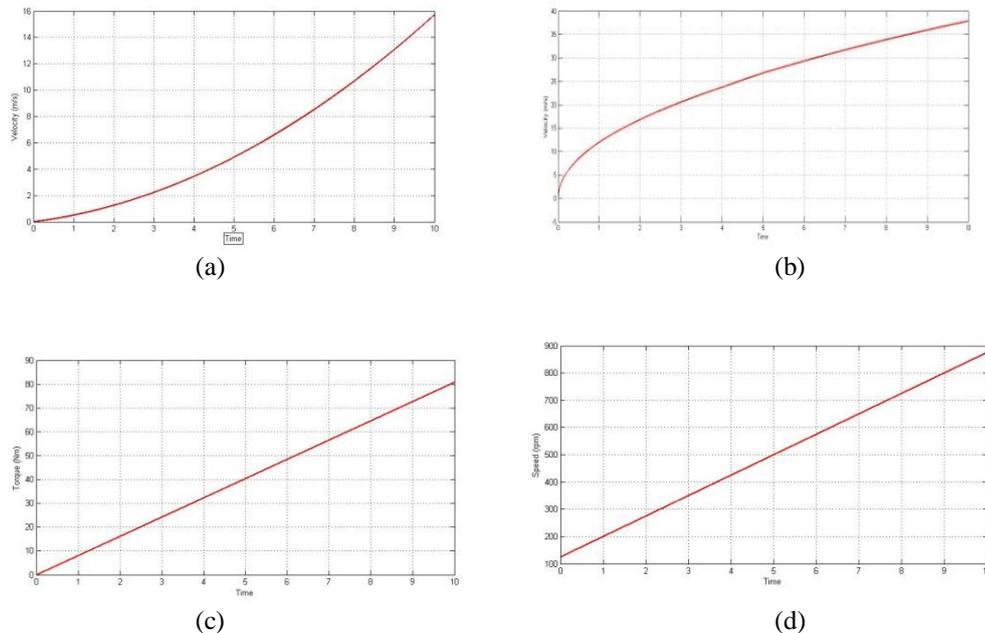
Berdasarkan persamaan tersebut dengan frekuensi yang berbeda, maka didapatkan rangkaian amplifiernya A/D Converter berupa:

$$Battery\ life\ time = \frac{I_{batt}}{I_{max}}$$

Sehingga hasil dari nilai ketahanan baterai akan diujikan berdasarkan hasil test pada simulink nantinya.

### E. Hasil Analisa Rangkaian pada Simulink

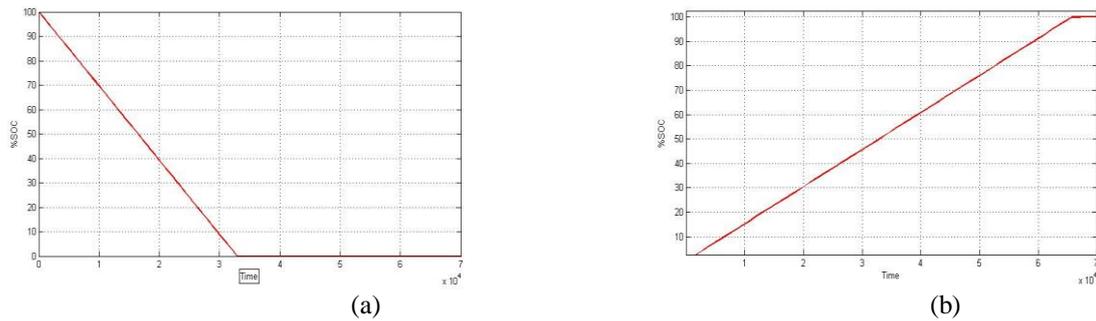
Dari analisa rangkaian diatas menggunakan perhitungan pendekatan matematika didapat beberapa analisa seperti hasil mekanika yang dihasilkan kendaraan sebagai berikut:



Gambar 8. (a) Graphik kecepatan kendaraan elektrik hibrida menggunakan motor DC; (b) Graphik kecepatan kendaraan elektrik hibrida menggunakan ICE; (c) Graphik torsi dihasilkan oleh motor DC; (d) Graphik kecepatan sudut dihasilkan oleh motor DC.

Dari gambar 8 dapat kita lihat hasil dari permodelan tersebut, kecepatan kendaraan yang menggunakan motor DC dan motor bakar berbeda kecepatannya, pada graphic 8a) kecepatan kendaraan menggunakan motor DC memiliki kecepatan maksimal pada 16 m/s atau setara 57,6 km/h, sedangkan pada penggunaan motor bakar, kecepatan yang terjadi setelah penambahan bobot yakni 36 m/s atau setara dengan 130 km/h.

Kemudian untuk hasil pada permodelan yang berbasis manajemen energy pada baterai dapat kita lihat pada gambar 9a) dan 9b) dibawah ini:



Gambar 9. (a) Graphik %SOC untuk penggunaan baterai; (b) Graphik %SOC untuk pengisian baterai.

Berdasarkan hasil pada gambar 9a) dan 9b), penggunaan baterai pada permodelan ini sebesar 32000 detik atau setara dengan 8 jam 53 menit, sedangkan dalam pengisian baterai pada permodelan ini sebesar 67800 detik atau setara dengan 18 jam 50 menit.

Berdasarkan hasil analisa menggunakan pendekatan perhitungan matematika tersebut, didapat penjelasan bahwa grafik yang dihasilkan masih belum memenuhi nilai real, sehingga grafik idealis tersebut dapat dipergunakan untuk memperhitungkan kondisi penggunaan modeling kendaraan hibrida berdasarkan konfigurasi system paralel sebagai acuan mendekati penggunaan kendaraan ramah lingkungan

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

Pada grafik yang diperlihatkan menggunakan simulink dengan persamaan matematika sebagai dasar perhitungannya, didapatkan bahwa teknologi pemasangan motor listrik dan baterai kedalam kendaraan konvensional masih terlalu belum memenuhi criteria seperti daya keluaran motor listrik yang belum bisa memenuhi kecepatan yang seimbang dengan motor bakar dan nilai kecepatan sudut yang dihasilkan dari motor listrik, nampaknya belum mampu menyamakan kondisi seperti mendekati kecepatan, sehingga khusus untuk penggunaan motor listrik yang ingin mendekati spesifikasi seperti motor bakar, haruslah meneliti lebih jauh, karena penggunaan motor listrik hasil keluaran pabrik produksi massal tak bias memenuhi criteria, haruslah menggunakan motor listrik hasil uji coba lab untuk bias digunakan setara dengan motor bakar, untuk lebih lanjut dalam penelitian selanjutnya, mohon menggunakan motor listrik hasil rancangan laboratorium untuk bias memenuhi criteria yang dimaksud.

Pada grafik penggunaan pada baterai, sudah bisa memenuhi criteria yang dicapai, karena penggunaan kendaraan hibrida ini bisa memperingan nilai pengeluaran untuk BBM dan meningkatkan nilai efisiensi motor bakar lebih baik berdasarkan hukum termodinamika.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Allam, Essam. M. (2015). Study Power Management of Hybrid Electrical Vehicle Using Battery Model Simulation. *Advances in Powertrains and Automotive.*: Vol 1. No 1. hlm 1 – 11.
- [2]. AISI Material Handbook (2003b edition), looked at sciencedirect.com, topic about :Automotive Body Structure
- [3]. Baruah, Ankur; Tanuja Sheorey; and Vijay Kumar Gupta. (2015). Model Based Design of Parallel HEV. *2ND International Conference Multidisciplinary Research and Practice*: Page 59 – 65.
- [4]. Borthakur, Swagata and Shankar C Subramanian. (2015). Design and Optimization of a Modified Series Hybrid Electrical Vehicle Powertrain. SAGE
- [5]. Cerofolini, A. (2014). Optimal Supervisory Control of Hybrid Vehicle. University of Bologna Italy.
- [6]. Dentler, John. (1985). Characteristic of Electric Motor. America Navy Academy.
- [7]. Enang, Wisdom; Christ Bannister; Chris Brace; Chris Vagg. (2017). Modelling and Heuristic of a Parallel Hybrid Electrical Vehicle. University of Bath Journal. UK.
- [8]. Israel, Owe. (2018). Study on Modeling and Simulation of HEV for Optimal Fuel Economy. *International Journal of Innovative Technology and Interdisciplinary Science*.

- [9]. Mangun, Muhammad. Firdase; Moumen Idres; and Kassim Abdulah. (2014). Power Management Controller for Hybrid Electric Vehicle using Fuzzy Logic. International Islamic University Malaysia.
- [10]. MatWorks, (2006). matlab library, The Matworks.Inc,.
- [11]. Tipler, Paul, (2007). Physics: For Sciences and Engineering 8th Edition. USA.
- [12]. Standard-wire.com/cable\_design\_formulas.html
- [13]. Varma, Dheeraj; Rajeshwar Vaishnava; and Arvind Mittal. (2015). A Review of Energy Source and Power Converters for Electrical Vehicles, *International Journal of Renewable Energy and Environmental Engineering ISSN 2348-0157*, Vol. 03, No 01. Journal of Automobile: Institution of Mechanical Engineering.